

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Математическая модель процесса возникновения и распространения степного пожара УДК 614.841.42(251.1)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1E51	Слепченко Максим Николаевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук И.В.	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов И.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вторушина А.Н.	к.х.н.		

Томск – 2020 г.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП по
направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Общекультурные и общепрофессиональные компетенции</i>	
P1	Способность понимать и анализировать социальные и экономические проблемы и процессы, применять базовые методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности.
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информационных технологий в развитии современного общества и для ведения практической инновационной инженерной деятельности в области техносферной безопасности.
P3	Способность эффективно работать самостоятельно, в качестве члена и руководителя интернационального коллектива при решении междисциплинарных инженерных задач с осознанием необходимости интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования.
P4	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P5	Способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования с целью выбора и оптимизации устройств, систем и методов защиты человека и природной среды от опасностей.
P6	Уметь выбирать, применять, оптимизировать и обслуживать современные системы обеспечения техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов.
P7	Уметь организовать деятельность по обеспечению техносферной безопасности на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях, в том числе при реализации инновационных междисциплинарных проектов.
P8	Уметь оценивать механизм, характер и риск воздействия техносферных опасностей на человека и природную среду.
P9	Применять методы и средства мониторинга техносферных опасностей с составлением прогноза возможного развития ситуации.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
20.03.01 Техносферная
безопасность
_____ А.Н. Вторушина
04.02.2020 г.

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
3-1E51	Слепченко Максим Николаевич

Тема работы:

Математическая модель процесса возникновения и распространения степного пожара

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

08.06.2020 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектом исследования в данной работе были степные пожары. Исходные данные для численных расчетов задавались в редакторе ввода MATLAB. Предметом исследования являлась математическая модель степных пожаров.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования;

- 1) Обзор существующих теоретических и экспериментальных методов изучения степных пожаров
- 2) Выбор метода математического моделирования
- 3) Применение метода контрольного объема для получения дискретного аналога
- 4) Разработка математической постановки задачи о возникновении и распространении степного пожара

содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	5) Задание исходных данных и параметров. 6). Разработка численной методики решения задачи. 7) Численное решение задачи о распространении степного пожара 9) Анализ результатов решения задачи и анализ влияния влагосодержания растительных горючих материалов и скорости ветра на скорость распространения степного пожара.
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	Кашук Ирина Вадимовна
СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	Романцов Игорь Иванович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	04.02.2020 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		04.02.2020 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-1Е51	Слепченко Максим Николаевич		04.02.2020 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность
Уровень образования бакалавриат
Отделение контроля и диагностики
Период выполнения весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2019 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.02.2020	Подбор и ознакомление с литературными и нормативно-правовыми источниками по избранной теме ВКР	10
01.03.2020	Сбор материалов и изучение воздействия степных пожаров	10
30.03.2020	Разработка математической модели возникновения и распространение степных пожаров	20
20.04.2020	Расчет скорости распространения степного пожара при различных метеорологических условиях и состоянии растительных горючих материалов	20
25.05.2020	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	20
08.06.2020	Оформление и представление ВКР	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		04.02.2020

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 20.03.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вторушина А.Н.	к.х.н.		04.02.2020

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО		
3 - 1E51	Слепченко Максим Николаевич		
Школа	ИШКНБ	Отделение Школа	ОКД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Определение: интегрального финансового показателя; Интегрального показателя ресурсоэффективности; интегрального показателя эффективности.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3 - 1E51	Слепченко Максим Николаевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
31-E51	Слепченко Максим Николаевич

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	20.03.01 Техносферная безопасность

Тема ВКР:

Математическая модель процесса возникновения и распространения степного пожара	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объектом исследования являются степные пожары. Рабочая зона – аудитория с оборудованием. Технологический процесс включает в себя сбор, обработку данных о степных пожарах, выбор метода математического моделирования, численное решение задачи о распространении степных пожаров. Площадь отопляемого помещения 25 м², освещение смешанное, наличие ПЭВМ и рабочих столов программиста.</p> <p>Область применения – предупреждение и ликвидация ЧС, МЧС России, лесное хозяйство.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны Контроль содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны. ФЗ от 22.07.2008 N 123-ФЗ ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рабочих. Общие требования и классификации. СанПиН 2.2.4-548-96 СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования.</p>
2. Производственная безопасность:	<p>Опасные:</p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень статического электричества; - повышенная напряженность электрического поля; <p>Вредные:</p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенная или пониженная влажность воздуха; - отсутствие или недостаток естественного света; - недостаточная искусственная освещенность рабочей зоны; - повышенная яркость света;

	<ul style="list-style-type: none"> - зрительное напряжение; - монотонность трудового процесса; - нервно-эмоциональные перегрузки. - повышенный уровень электромагнитных излучений; - повышенный уровень шума повышенный или пониженный уровень отрицательных и положительных аэроионов; <p>Для создания и поддержания оптимального микроклимата, независимо от наружных условий: в холодное время года используется водяное отопление; в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. При повышенном уровне напряженности полей следует сократить время работы за компьютером, делать пятнадцатиминутные перерывы в течение полутора часов работы, обязательно применять защитные экраны, не размещать их концентрированно в рабочей зоне и выключать их, если на них не работают.</p>
3. Экологическая безопасность:	<p>Воздействия на атмосферу:</p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенный или пониженный уровень отрицательных и положительных аэроионов; <p>Воздействия на литосферу:</p> <ul style="list-style-type: none"> - отработанные материалы - лампы - платы - батареи
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Перечень возможных ЧС Для аудитории, находящейся в здании, наиболее вероятными и опасными являются следующие ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Пожары (взрывы) в зданиях (сооружениях) <p>Профилактические мероприятия</p> <ul style="list-style-type: none"> - пожарная сигнализация - обеспечение первичными средствами пожаротушения. - обучение персонала правилам пожарной безопасности; - размещение планов эвакуации

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.03.2020
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1E51	Слепченко Максим Николаевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 69 с., 8 рис., 18 табл., 23 источников.

Ключевые слова: математическое моделирование, степной пожар, влагосодержание, запас, метод контрольного объема.

Объектом исследования являются степные пожары, распространяющиеся по растительному покрову.

Предметом исследования являются математические модели степных пожаров

Цель работы – с помощью метода математического моделирования определить зависимость скорости распространения степных пожаров от скорости ветра и влагосодержания растительных горючих материалов.

В процессе исследования проводились разработка двумерной математической модели распространения степного пожара, определялись распределения полей скорости, температуры и концентраций компонентов газовой и конденсированной фаз и скорости распространения степного пожара для различных параметров растительных материалов.

В результате исследования получены: скорости распространения степного пожара от скорости ветра и влагосодержания ЛГМ; распределение температур, концентраций и объемных долей фаз.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: данная работа позволит рассчитать скорость распространения степного пожара для различных условий.

Область применения: профилактические мероприятия для предотвращения степных пожаров.

Экономическая эффективность/значимость работы: позволит более точно рассчитать параметры степных пожаров.

Оглавление

Введение	11
1. Теоретическая часть	13
1.1. Обзор литературы.....	13
1.1.1. Общие сведения о степи.	13
1.1.2. Виды степных пожаров.....	13
1.1.3. Ситуация с степными пожарами на территории Кемеровской области.....	16
1.2. Предлагаемая концептуальная основа управления пожаром.....	18
1.3. Математическое моделирование для прогнозирования ЧС	20
2. Математическое моделирование возникновения и распространения степного пожара.....	25
2.1. Физико-математическая постановка.....	25
3. Метод решения и результаты численных расчетов.....	30
3.1. Метод решения	30
3.2. Результаты решения и их анализ	32
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	36
5. Социальная ответственность	54
Заключение	67
Список используемых источников	68

Введение

Площадь степей занимает большую территорию, местность по большей части ровная, имеющиеся на ней горючие вещества легковоспламеняющиеся. В случае пожара огонь быстро распространяется под воздействием сильных ветров и его трудно контролировать.

На сегодняшний день степи охватывают половину площади России, при этом, продолжают разрастаться. Главная причина этому – пожар.

Можно с уверенностью сказать, что на данный момент в России пожаров в 10 раз больше, чем лет 100 назад. По статистическим данным каждый год происходит около 300 тысяч пожаров. Они наносят колоссальный экологический ущерб, экономический ущерб, влияют на виды растительности и среду обитания животных, на здоровье человека. Поэтому, защита от пожаров, является важнейшей задачей и обязанностью каждого члена общества и должна соблюдаться в общегосударственном масштабе. Но пожары, ни всегда могут возникнуть сами, зачастую этому способствует человеческий фактор. Из-за своей неправильной деятельности, человек наносит вред окружающей среде. Меня, как и многих других жителей, где преобладает степная местность, беспокоит эта тема, потому что в результате пожаров гибнут леса, степи, луга, многочисленные его обитатели, гибнут растения их корни, а некоторые их виды исчезают. Эта обстановка может способствовать экологической катастрофе.

Эти причины определяют актуальность темы. Очень часто степные пожары, начинаясь на территории соседних государств (Казахстан, Монголия), переходят государственную границу и продолжаются уже на территории Российской Федерации. Поэтому исследование этого природного явления должно носить международный характер, но, к сожалению, физико-математическому исследованию степных пожаров, уделяется мало внимания.

Целью работы является создание математической модели возникновения и распространения степных пожаров.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

1. Разработка математической модели для решения задач о распространении низовых степных пожаров.
2. Применение метода контрольного объема.
3. Исследование влияния основных параметров на скорость распространения степных пожаров.
4. Анализ полученных результатов.

В качестве основных методов использовались методы физико-математического моделирования.

1.ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Обзор литературы

1.1.1. Общие сведения о степи

Степь — это равнинная ландшафтная зона, расположенная в умеренных и субтропических поясах Северного и Южного полушария. Степи распространены на территориях всех континентах земного шара, за исключением Антарктиды.

Главная особенность всех степей — засушливость. Тип климата — от умеренно-континентального до резко континентального. Средняя норма годовых осадков редко превышает отметку в 400 мм. В степях преобладает ветреная погода, а лето характеризуется большим количеством солнечных дней. Зимы малоснежные, зато часты бураны и метели. Еще одна особенность степей — резкий перепад дневной и ночной температуры, так как ночью температура может падать на 15-20°C. Эти условия роднят степи с пустынями.

В степях часто проходят пыльные бури, которые влияют на эрозию почвы и приводят к образованию балок и оврагов.

Почвы степей, расположенных в умеренном климатическом поясе весьма плодородны и активно используются в сельском хозяйстве. В основе — чернозем, лишь ближе к южным широтам встречаются каштановые почвы.

1.1.2. Виды степных пожаров

В степной и лесостепной зонах могут происходить различные пожары, отличающиеся по своей динамике, особенностям развития, типам горючих материалов, что, в свою очередь, определяет различия в приёмах и методах их тушения.

Часто, особенно на крупных пожарах, на местности есть элементы различных типов сообществ и различные природные горючие материалы. Например, участки степи могут чередоваться с небольшими фрагментами

древесно-кустарниковой растительности, в поймах переходить в тростниковые заросли, а по старым руслам и регулярно заливаемым весной площадям иметь накопления неперегнившей растительной массы или даже торфа. Тем не менее, можно условно выделить основные виды пожаров в степях.

Травяные пожары -эти пожары скоротечны, распространяются очень быстро, обычно имеют низкую интенсивность, но часто служат причиной возникновения всех остальных видов пожаров. Характерны для собственно степных участков, а также для сельскохозяйственных угодий и земель, вышедших из сельскохозяйственного оборота (заброшенные сенокосы, пашни, пастбища и залежи). В зависимости от преобладающего видового состава и времени года (степени засушливости) интенсивность этих пожаров может быть разной. Как правило, наиболее опасные и высокоинтенсивные травяные пожары происходят на участках с накоплением, так называемого степного войлока. Дым от таких пожаров обычно густой, серый, глубина кромки - от десятков сантиметров до нескольких метров.

Выгоревшая площадь остывает относительно быстро и является надёжной зоной безопасности. При наличии скота в местности, где происходит травяной пожар, особенно на старых пастбищах, следует помнить о том, что кизяк (высохший навоз) может лететь длительное время и раздуваться ветром, что часто приводит к возобновлению пожара на уже потушенной кромке.

Тростниковые пожары возникают в местах массового произрастания тростника - в поймах, на переувлажнённых участках, в дельтах рек, по склонам оврагов. Пожары возникают очень легко и распространяются с большой скоростью (5-30 км/ч) [1], которая зависит, прежде всего, от скорости ветра. Дополнительную опасность создают летящие по ветру горящие частицы (например, метёлки с семенами), которые, преодолевая расстояния до 300 м[1], становятся причиной возникновения новых очагов пожара. В этом случае пожар получает пятнистую форму, хотя в условиях

безветренной погоды может развиваться как устойчивый. Тотальность выгорания и интенсивность горения зависят не только от погоды, но и от времени года и возраста тростника. Полностью отмершие побеги горят интенсивнее, при пожаре редко сохраняются несгоревшие участки. Более молодые и не совсем высохшие растения горят менее интенсивно, часто пожар принимает форму беглого, с неполным выгоранием горючих материалов. Особенно опасны тростниковые пожары в старых, много лет, не выгоравших зарослях с накопившимся сухим тростником.

По форме можно условно выделить два вида тростниковых пожаров. Первый - тростниковый низовой, при котором горят опавшие листья и заломленные старые стебли у земли, но не сгорают стоящие стебли и метёлки с семенами. Такие пожары менее интенсивны, но часто очень быстро продвигаются против ветра (скорость продвижения тыла может лишь немного уступать скорости продвижения фронта). Особую опасность представляет то, что при усилении ветра такой пожар легко может перейти в форму тростникового верхового и повторно пройти по уже пройденной низовым огнём площади. Это очень опасно для людей, работающих на таких пожарах. При тростниковом верховом пожаре тростник сгорает практически полностью с интенсивным выделением тепла.

Формирующаяся конвекционная колонка поднимает недогоревшие частицы на многие сотни метров (иногда на километры), вызывая выпадение «чёрного снега» - пепла, содержащего крупные обугленные растительные остатки. Нередко горящие метёлки с семенами переносятся на сотни метров (зафиксированы случаи возникновения новых очагов от перебросов частиц более чем в 300 м от кромки). Дым при верховом тростниковом пожаре густой, чёрный, обычно явно видна высокая конвекционная колонка.

Особенность пожаров в тростниковых зарослях - способность огня преодолевать довольно широкие водные преграды. Тростник может какое-то время гореть, даже если его корни и основания стеблей находятся под водой, а горящие частицы могут переноситься через довольно широкие реки

и протоки. Высота пламени тростникового пожара может достигать 5-10 м [1]. Как правило, пойменные леса, до которых доходит такой пожар, погибают. Тростниковые пожары могут действовать как в дневное, так и в ночное время, хотя ночью их горение менее интенсивно, чем в дневные часы.

Кустарниковые пожары происходят на участках, поросших кустарниками и не занятых лесом (нет сомкнутости, преобладает травяная растительность), часто это овраги, склоны. Пожары по своей динамике ближе к травяным, но распространяются чуть медленнее, с более глубокой кромкой (иногда десятки метров), с длительным догоранием одревесневших частей (сухих веток), с высокой вероятностью возобновления горения на кромке и большим задымлением на выгоревшей площади. Технологии тушения те же, что и при низовых лесных пожарах, но кустарниковые пожары более динамичны и требуют более быстрых действий при смене направления ветра, усилении горения. Выгоревшая площадь не всегда доступна как зона безопасности из-за длительного сохранения горения кустарников и сильного задымления.

Почвенные пожары. Подземные пожары нетипичны для степных ландшафтов, но всё же могут встретиться в степной зоне.

Такие пожары могут развиваться как на лесной, так и на нелесной площади. Выделяют два типа подземных пожаров - подстильно-гумусовые и торфяные.

Подстильно-гумусовые пожары развиваются в лесах с мощной лесной подстилкой и богатыми органикой почвами, нередко сопровождая низовой пожар. Обычно эти пожары неглубокие (редко глубже 20 см).

1.1.3. Ситуация с степными пожарами на территории Кемеровской области

Область расположена на юго-востоке Западной Сибири, занимая отроги Алтая и Саян.

Протяжённость области с севера на юг почти 500 км, с запада на восток — 300 км. Граничит на северо-востоке и севере с Томской областью, на северо-востоке — с Красноярским краем, на востоке — с Республикой Хакасия, на юге — с Республикой Алтай, на юго-западе — с Алтайским краем, на северо-западе — с Новосибирской областью.

Таблица 1.1 Количество степных пожаров по годам

Год	количество пожаров
2014 год	195
2015 год	103
2016 год	254
2017 год	548
2018 год	59
2019 год	155

Построим график по приведенным данным.

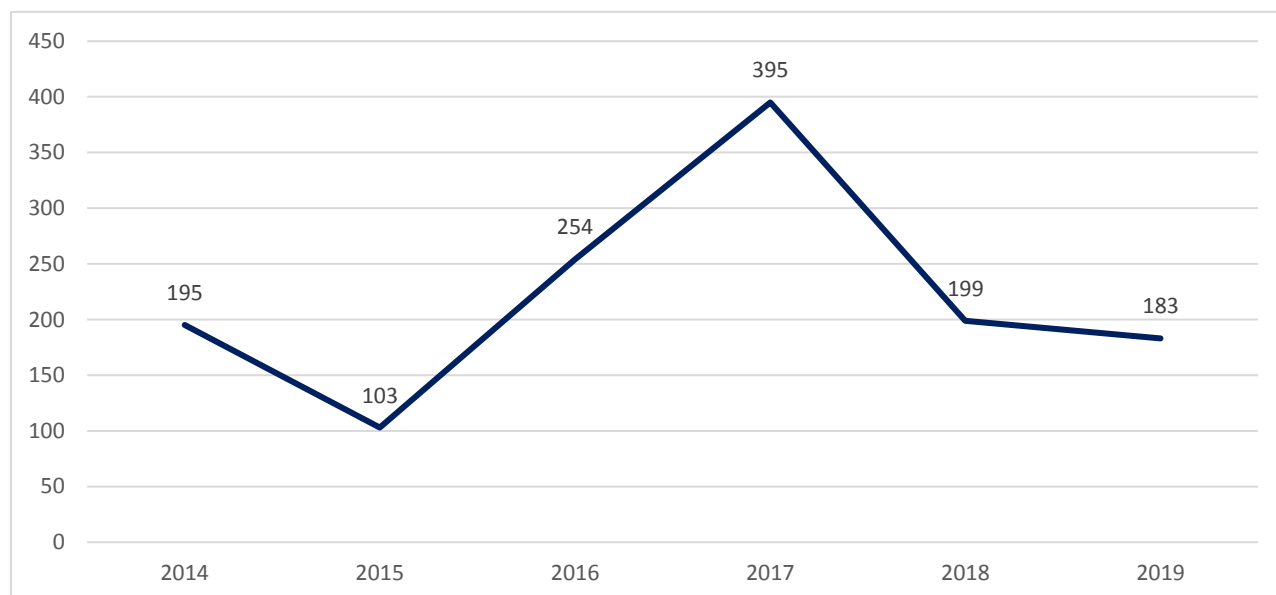


Рисунок 1.1 Количество лесных пожаров по годам

По рисунку 1.1 видно, что 2017 год был самый пожароопасный год из всех представленных, количество пожаров в 2017 году составляет 395, Общая площадь ликвидированных пожаров составляет 192418,6 га. Основными предпосылками возникновения чрезвычайной ситуации на территории

районов Кемеровской области явились:

- благоприятные для возникновения пожаров погодные условия (высокие дневные температуры (+23 C⁰ – +28 C⁰, местами до + 33C), длительное отсутствие осадков, ветер 3 – 8 м/с (с порывами до 23 м/с), высокий класс пожарной опасности);
- недостаточный контроль за деятельностью местного населения со стороны органов местного самоуправления;
- недостаточное количество групп сельских поселений, созданных для контроля за степными пожарами .

Теперь рассмотрим данные лесных пожаров по Кемеровской области по месяцам.

Таблица 1.2 – Количество лесных пожаров по месяцам

	2014 год	2015 год	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	Среднее
апрель	27	7	22	81	29	24	31,6
май	110	88	141	212	105	99	125,8
июнь	58	28	91	162	65	60	77,3

По таблице 1.2 построим график лесных пожаров.

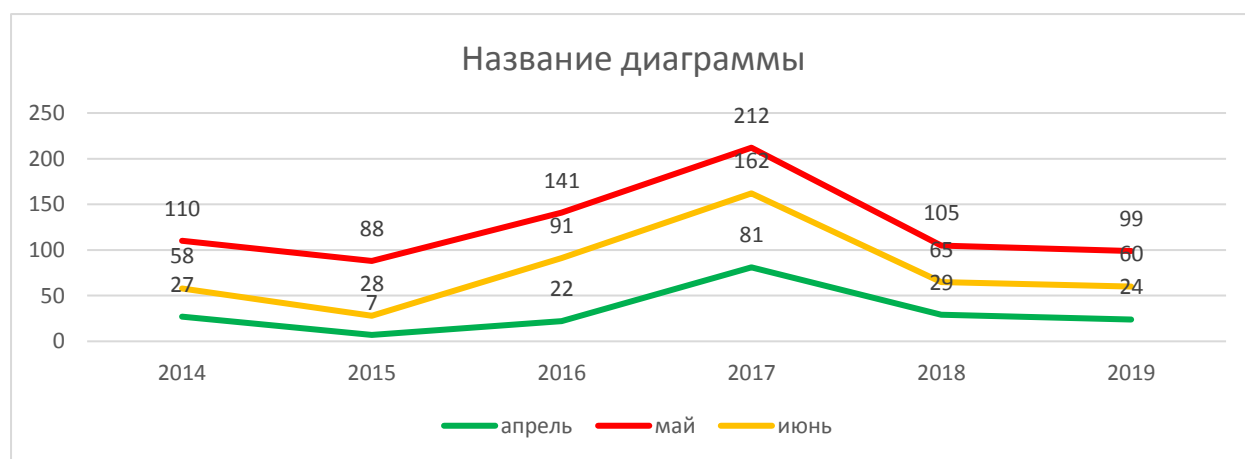


Рисунок 1.2 – Количество лесных пожаров по месяцам

По рисунку 1.2 видно, что наибольшее количество пожаров происходит в мае и первой половине июня.

1.2. Предлагаемая концептуальная основа управления пожаром

Интегрированное управление пожарами (IFM) - это концептуальная структура, которую предлагается использовать для выявления и устранения

связанных с пожарами угроз сохранению биоразнообразия в приоритетных заповедных зонах. Термин относится к различным аспектам управления пожарами.

Шаг 1: Оценка и анализ ситуации. Эффективный анализ конкретной ситуации является ключом к успешной интеграции экологии, социальных вопросов и соответствующих технологий управления пожарами. Определение роли, которую огонь играет в культурном, экономическом и социальном контексте различных заинтересованных сторон, имеет решающее значение для развития этого понимания.

Вопросы, которые следует задавать при проведении такого анализа, включают:

- Какова экологическая роль и воздействие пожара в данном районе?
- В каком социальном, культурном и экономическом контексте происходят пожары?
- Кто производит сжигание и почему?
- Как они горят?
- Каковы характеристики топлива в этом районе и как в нем ведет себя огонь при различных условиях горения?
- Какие другие факторы или угрозы усугубляют проблему пожаров, такую как вопросы землепользования, незаконные рубки, инвазивные виды или изменение климата?

Шаг 2: Законы, политика и институциональные рамки дополнение к институциональной структуре, которая охватывает концепцию IFM, должны быть созданы поддерживающие законы и политика. Чтобы обеспечить надлежащее распространение и внедрение, экологическая и социальная информация должна быть включена в учебные планы по управлению пожарами в университетах, техникумах и программах профессиональной подготовки.

Шаг 3: Готовность и ответ

Эффективное управление пожаром неизменно предполагает готовность и способность реагировать на чрезвычайные ситуации.

Пожарные события можно лучше предвидеть и принимать правильные решения, когда пожары происходят, если руководители знают о прошлых пожарах, источниках возгорания, а также о необходимости и склонности некоторых типов растительности гореть.

Шаг 4: Восстановление, восстановление и обслуживание

Цель этого шага - собрать информацию, необходимую для работы в пост пожарной среде. Усилия по восстановлению после пожара часто плохо спроектированы, неэффективны и дороги. Они могут быть лучше спроектированы путем включения экологических знаний о сожженной растительности и ее потенциале восстановления.

Шаг 5: Адаптивное управление, исследования и передача информации
Этот последний шаг гарантирует, что активное обучение будет происходить постоянно и улучшит управление огнем. Это чрезвычайно важно, потому что многие решения IFM будут приниматься с неполным знанием и ограниченным опытом. Важно, чтобы существовала адаптивная структура управления, с помощью которой можно вносить постоянные улучшения и корректировки. Текущие планы и действия должны основываться на существующих знаниях и выводах, полученных в результате первоначального анализа ситуации (шаг 1). Влияние этих решений должно контролироваться, и именно эти отслеживаемые тенденции наряду с включением новых знаний будут определять будущие действия руководства. Необходимо создать эффективные механизмы, которые облегчат обзор стратегий реализации, а также перевод и распространение технологий, информации и новых знаний.

1.3. Математическое моделирование для прогнозирования ЧС

Спрос на прогнозирование бедствий растет, но это остается сложной задачей. Это происходит главным образом из-за того, что чрезвычайные ситуации характеризуются такими характеристиками, как внезапное начало, быстрое развитие, цепная неопределенность развития и неточность

первоначальной неполноты. Поэтому единственным способом прогнозирования развития аварийной ситуации обычно является математическая модель.

Характерные особенности чрезвычайных ситуаций (ЧС), такие как внезапность возникновения, быстрота развития, неполнота и неопределенность исходной информации, разнообразие и цепной характер последствий затрудняют использование для их изучения традиционных эмпирических методов.

В связи с этим, для анализа и прогнозирования чрезвычайных ситуаций все шире применяется математическое моделирование, которое является во многих случаях единственно допустимым, как, например, при экспертизе особо опасных природных или техногенных явлений.

Математической моделью ЧС называется система соотношений, уравнений, неравенств, геометрических понятий и т.д., которые в математической форме отображают, воспроизводят или имитируют наиболее важные особенности и свойства реальных опасных явлений с целью анализа и прогнозирования их возникновения, развития и последствий.

Создание математической модели ЧС включает в себя несколько этапов. Начальным этапом является содержательное описание ЧС, которое составляется на основе всех имеющихся о ней знаний, результатов натурных обследований сходных ситуаций, консультаций с экспертами, изучения справочной и специальной литературы.

На втором этапе выполняется формализация содержательного описания модели, математическая постановка задачи с указанием всех необходимых исходных данных и искомых величин.

На третьем этапе формализованная схема ЧС должна быть преобразована в ее математическую модель. Для этого всю имеющуюся информацию необходимо выразить с помощью соотношений, неравенств, уравнений, алгоритмов. Уравнения, входящие в модель, дополняются

начальными и граничными условиями, а также неравенствами, определяющими область допустимых значений вычисляемых величин.

На четвертом этапе, исследуется сама модель. Путем проведения многовариантных расчетов изучаются свойства модели и ее поведение при различных условиях.

На следующем этапе модель применяется к описанию реальных ЧС. Путем сопоставления результатов вычислительных экспериментов с имеющимися опытными данными выполняется идентификация или уточнение параметров модели, ее тестирование, отладка и проверка адекватности.

После того, как адекватность модели, т.е. ее достаточное соответствие реальности, установлена, начинается использование модели для анализа и прогнозирования ЧС, происходящих в реальных условиях.

1.3.1. Обзор математических моделей

Первая модель распространения пожаров была опубликована в 1946 году В.Л. Фонсом [9]. Она была основана только на уравнении теплового баланса и использовала в качестве коэффициентов данные, полученные при сжигании горючих веществ в аэродинамической трубе. Далее стоит выделить модель Г.М. Байрама (1970) [10], которая определяла соотношение между длиной пламени, величиной расходуемых горючих веществ и теплотой их сгорания. В этой модели использовались реальные данные, полученные при изучении пожаров в сосновых лесах. Однако недостатком этой модели было то, что в качестве входных данных использовались данные (например, длина и высота пламени), которые могут быть получены только из наблюдения за конкретным пожаром. Первой моделью, которая использовала только те данные, которые могут быть измерены заранее, стала модель низовых пожаров Р.Ротермела (1972) [11], в основе которой лежит баланс энергии твердой фазы горючего. Эта модель стала одной из наиболее удачных, прошла многочисленные полевые проверки. Некоторые положения этой модели используются до сих пор.

Рассмотрим различные методы исследования пожаров. Физико-математическое моделирование поведения пожаров условно делят на три группы:

- модели, построенные «из первых принципов»;
- модели «черного ящика»;
- феноменологические [7].

Модели первой группы основаны на физике горения и для прогноза используют расчеты на основе исходной теории. Эти модели учитывают три вида передачи тепла: теплопроводность, конвекция и радиация.

Модели второй группы рассматривают только исходные данные пожара и сравнивают их с имеющимися экспериментальными данными и на основании сходства выдают прогнозы. Однако, успешность применения напрямую зависит от соответствия данных тем данным, которые содержатся в базе данных.

Модели третьей группы сочетают в себе физические расчеты и константы, выявленные в ходе наблюдения за реальными пожарами.

Отличие моделей первой и второй группы очевидно - первые используют только расчеты, вторые - только экспериментальные данные. Третья группа моделей занимает промежуточное положение. При этом первая группа моделей обладает универсальностью, т.е, способностью рассчитывать параметры любого пожара, а вторая - точностью и простотой построения при совпадении параметров образца и текущего пожара. Поскольку граница между этими группами (а особенно между первой и третьей), то возможно рассматривать два подхода - с описанием физико-химических процессов горения и моделирование в виде «черного ящика».

В зависимости от способа отображения данных модели разделяются на пространственные и непространственные. Модели первой группы дают возможность наблюдать визуализированное распространение пожара по массиву, а модели второй группы выдают результаты в виде графиков и таблиц. При этом непространственные модели требуют меньшие вычислительные мощности, однако сложнее для интерпретации, а

пространственные интуитивно понятны, однако они требуют больше памяти и сложнее в построении.

По возможному назначению модели делятся на три уровня:

- фундаментальное моделирование;
- тактическое моделирование;
- стратегическое моделирование [12].

Фундаментальное моделирование исследует горение отдельных частиц, слоев из однородных частиц и слоев из разных горючих материалов и основано на процессах тепломассопереноса. В качестве исходных параметров берутся физико-химические свойства веществ (содержание, влажность, теплопроводность, количество и состав выделяющихся при горении веществ) и характеристики среды (скорость и направление ветра, влажность воздуха, турбулентность атмосферы). Решениями для данных моделей являются распределение температур, концентраций веществ, размеры пламени, скорость его распространения. В качестве примера можно привести модели А.М.Гришина [12] и Ю.А.Гостинцева. [14] Часто эти модели являются основой для тактического моделирования.

Тактическое моделирование прогнозирует пожар в целом - скорость распространения, контур и площадь горения, интенсивность горения. Также в данных моделях определяется вид пожара и факторы, приводящие к перемене вида пожара (параметры, при которых низовой пожар переходит в верховой, а тот в свою очередь - в пятнистый). Данные модели разрабатывали Э.В.Конев [10], Е.К. Кисильхов [13].

Стратегическое моделирование изучает совокупности пожаров - их возникновение, распространение, развитие, а также основные важнейшие их характеристики - скорость, площадь, длину фронта. Эти модели

используются руководителями административных единиц,

соответствующими органами МЧС и имеют важное практическое значение, поскольку на основании их прогнозов принимаются меры по защите населения и территории в пожароопасный период. В нашей стране этими моделями занимался Г.Н.Коровин [14].

2. Математическое моделирование возникновения и распространения степного пожара

2.1. Физико-математическая постановка

Пусть на некоторой территории покрытой травянистой растительностью (степной массив) имеется очаг повышенной температуры конечных размеров. Задана высота травяного покрова, тип растительности, запас и влагосодержание растительных горючих материалов, температура окружающей среды и скорость ветра. Под воздействием ветра от заданного источника зажигания начинает распространяться степной пожар по заданному массиву. Необходимо определить скорость распространения фронта степного пожара и динамику изменения его контура в различные моменты времени. Пусть начало декартовой системы координат x, y, z связано с центром очага. Ось Oz направлена вертикально вверх, а оси Ox и Oy – параллельны земной поверхности. Ось Ox совпадает с направлением ветра. В начальный момент времени координаты очага зажигания равны нулю. На рисунке 2.1 схематично изображено расположение степного массива и очага зажигания.

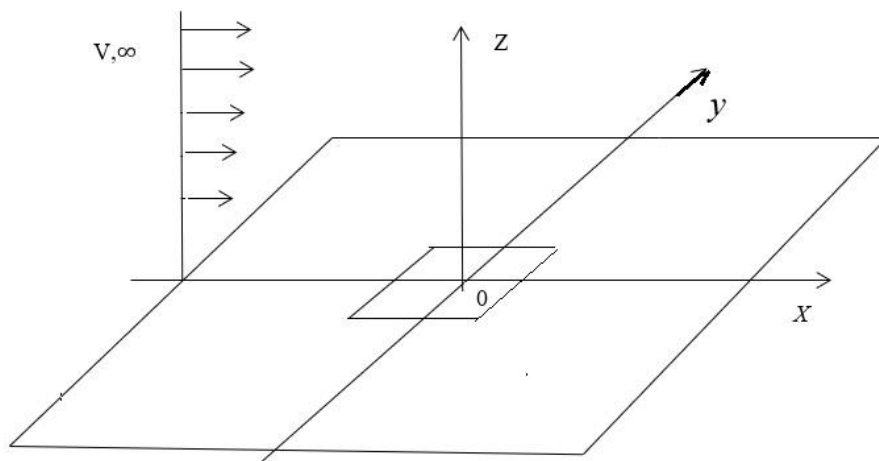


Рис. 2.1. Схема области степного пожара

Предполагаем, что течение носит развитый турбулентный характер, и молекулярным переносом пренебрегаем по сравнению с турбулентным; слой растительности предполагается недеформируемой пористо-дисперсной средой; среда в растительном покрове считается двухтемпературной, т.к.

различаются температура газовой и конденсированной фазы; известна скорость ветра над растительным слоем; рассматривается так называемый продуваемый растительный слой, когда объемной долей конденсированной фазы растительных горючих материалов (РГМ), состоящей из сухого органического вещества, воды в жидко-капельном состоянии и золы можно пренебречь по сравнению с объемной долей газовой фазы, включающей в себя компоненты воздуха и газообразные продукты пиролиза и горения; плотность газовой фазы не зависит от давления, т.к. скорость течения мала по сравнению со скоростью звука; перенос энергии осуществляется путем турбулентной конвекции и излучения.

Математическая данная задача сводится к решению системы дифференциальных уравнений в частных производных, которые выражают законы сохранения массы, количества движения и энергии для турбулентного течения. В области, расположенной выше уровня шероховатости z_0 и ниже уровня верхней границы растительного покрова h в плоскости Oxy , имеем уравнения, выражающие законы сохранения для многофазной многокомпонентной сплошной реагирующей среды [1].

Исходя из того, что вертикальные размеры слоя растительности существенно меньше его горизонтальных размеров, общая система дифференциальных уравнений процесса тепломассопереноса в трехмерном массиве может быть проинтегрирована по вертикальной оси z . Для этого исходная система уравнений была приведена к дивергентному виду, затем проинтегрирована по высоте [2]. При этом высота h – уровень осреднения, то есть:

$$\int_0^h \phi dz = \bar{\phi} h,$$

где $\bar{\phi}$ – среднее значение величины ϕ .

Проинтегрированная система уравнений выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = \dot{m} - \frac{\dot{c}^- - \dot{c}^+}{h}, \quad (2.1)$$

$$\rho \frac{du}{dt} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}(-\rho \overline{u'^2}) + \frac{\partial}{\partial y}(-\rho \overline{u'v'}) - \rho s c_d u |\vec{u}| - \dot{m} u + \frac{(\tau_x^- - \tau_x^+)}{h}, \quad (2.2)$$

$$\rho \frac{dv}{dt} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}(-\rho \overline{u'v'}) + \frac{\partial}{\partial y}(-\rho \overline{v'^2}) - \rho s c_d v |\vec{u}| - \dot{m} v + \frac{(\tau_y^- - \tau_y^+)}{h}, \quad (2.3)$$

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial x}(-\rho c_p \overline{u'T'}) + \frac{\partial}{\partial y}(-\rho c_p \overline{v'T'}) + q_5 R_5 - \alpha_v (T - T_s) + \frac{(q_T^- - q_T^+)}{h} + k_g (c U_R - 4\sigma T^4), \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial y} \right) - k c U_R + 4k_g \sigma T^4 + 4k_s \sigma T_s^4 = 0, \quad k = k_g + k_s, \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=1}^4 \rho_i \varphi_i c_{pi} \frac{\partial T_s}{\partial t} = q_3 R_3 - q_2 R_2 + k_s (c U_R - 4\sigma T_s^4) + \alpha_v (T - T_s), \quad (2.6)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = -R_1; \quad \rho_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = -R_2; \quad \rho_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = \alpha_c R_1 - \frac{M_c}{M_1} R_3; \quad \rho_4 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = 0, \quad (2.7)$$

$$\sum_{\alpha=1}^3 c_\alpha = 1, \quad p_e = \rho R T \sum_{\alpha=1}^3 \frac{c_\alpha}{M_\alpha}, \quad \dot{m} = (1 - \alpha_c) R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3, \quad (2.8)$$

$$R_{s1} = -R_3 - \frac{M_1}{2M_2} R_5; \quad R_{s2} = v_g (1 - \alpha_c) R_1 - R_5.$$

Для описания процессов пиролиза РГМ, испарения из них влаги, горения конденсированных и летучих продуктов пиролиза используются уравнения для скоростей химических реакций

$$R_1 = k_1 \rho_1 \varphi_1 \exp\left(-\frac{E_1}{RT_s}\right), \quad R_2 = k_2 T^{-0.5} \rho_2 \varphi_2 \exp\left(-\frac{E_2}{RT_s}\right), \quad R_3 = k_3 \rho s_\sigma \varphi_3 c_1 \exp\left(-\frac{E_3}{RT_s}\right),$$

$$R_5 = k_5 M_2 \left(\frac{c_1 M}{M_1} \right)^{0.25} \frac{c_2 M}{M_2} T^{-2.25} \exp\left(-\frac{E_5}{RT}\right). \quad (2.9)$$

Вышеизложенную систему уравнений следует решать с соответствующими начальными и граничными условиями:

$$t = 0: u = 0; v = 0; T = T_e; c_\alpha = c_{ae}; T_s = T_e; \varphi_i = \varphi_{ie}; \quad (2.10)$$

$$x = 0: u = V_e; v = 0; T = T_e; c_\alpha = c_{ae}; -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x} + \frac{c U_R}{2} = 0; \quad (2.11)$$

$$x = x_e: \frac{\partial u}{\partial x} = 0; \frac{\partial v}{\partial x} = 0; \frac{\partial c_\alpha}{\partial x} = 0; \frac{\partial T}{\partial x} = 0; \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x} + \frac{c U_R}{2} = 0; \quad (2.12)$$

$$y = 0: \frac{\partial u}{\partial y} = 0; \frac{\partial v}{\partial y} = 0; \frac{\partial c_\alpha}{\partial y} = 0; \frac{\partial T}{\partial y} = 0; -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial y} + \frac{c U_R}{2} = 0; \quad (2.13)$$

$$y = y_e : \frac{\partial u}{\partial y} = 0; \frac{\partial v}{\partial y} = 0; \frac{\partial c_\alpha}{\partial y} = 0; \frac{\partial T}{\partial y} = 0; \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial y} + \frac{c U_R}{2} = 0; \quad (2.14)$$

Символом $\frac{d}{dt}$ обозначена полная производная:

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y}.$$

Считая, что тепло- и массообмен во фронте степного пожара с приземным слоем атмосферы и нижним ярусом растительности описывается по закону Ньютона, то соответствующие члены уравнений можно записать в следующем виде [3]:

$$\frac{(J_\alpha^- - J_\alpha^+)}{h} = -\frac{\alpha}{c_{ps} h} (c_\alpha - c_{ae}), \quad (2.15)$$

$$\frac{(q_T^- - q_T^+)}{h} = -\frac{\alpha}{h} (T - T_e), \quad (2.16)$$

Здесь и выше $R_1 - R_3$. R_5 – массовые скорости реакции пиролиза сухого органического вещества РГМ , испарения влаги , горения конденсированных и летучих продуктов пиролиза . соответственно; $C_{pi}, \rho_i, \varphi_i$ – удельные теплоемкость , истинные плотности и объёмные доли i – фазы многофазной реагирующей среды; u, v – проекции скорости на оси x и y , соответственно; T, C_α – температура и массовые концентрации компонентов газовой фазы (C_α : $\alpha=1 - O_2$, 2 – горючие компоненты продуктов пиролиза, 3 – инертные компоненты воздуха) ; P, P_∞ – давления в потоке и гидростатическое; U_R – осредненная плотность излучения ; k – интегральный коэффициент (ослабления излучения). k_g, k_s – коэффициенты поглощения для газодисперсной и конденсированной фаз; α_v – коэффициент обмена фаз, q_i, E_i, k_i – тепловые эффекты, энергии активации и предэкспоненты реакций пиролиза, испарения, горения кокса и летучих продуктов пиролиза; s_σ – удельная поверхность элемента растительных горючих материалов; M_ω, M_c, M – молекулярные веса индивидуальных компонентов газовой фазы, углерода и воздушной смеси; s, c_d – удельная поверхность фитомассы и эмпирический

коэффициент сопротивления растительного покрова; c – скорость света; u, v – проекции скорости на оси x, y соответственно; α_c, ν_c – коксовое число и массовая доля горючих газов в массе летучих продуктов пиролиза; \dot{m} – массовая скорость образования газодисперсной фазы; g – ускорение свободного падения. Индексы "0" и "e" относятся к значениям функций в очаге горения и на большом расстоянии от зоны пожара соответственно.

Система уравнений (2.1)-(2.8) содержит члены, связанные с турбулентной конвекцией и нуждаются в замыкании. Компоненты тензора турбулентных напряжений $\overline{\rho v'_i v'_j}$, а также турбулентные потоки тепла и массы $\overline{\rho v'_j c_p T'}$, $\overline{\rho v'_j c'_\alpha}$ записываются через градиенты среднего течения согласно [2]

$$\begin{aligned} -\overline{\rho v'_i v'_j} &= \mu_t \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} K \delta_{ij}, \\ -\overline{\rho v'_j c_p T'} &= \lambda_t \frac{\partial T}{\partial x_j}, \quad -\overline{\rho v'_j c'_\alpha} = D_t \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_j}, \end{aligned} \quad (2.17)$$

$$\lambda_t = \mu_t c_p / Pr_t, \quad \rho D_t = \mu_t / Sc_t$$

$$\mu_t = c_\mu \rho K^2 / \varepsilon. \quad (2.18)$$

Здесь K – кинетическая энергия турбулентности, v_i и \dot{v}_i – компоненты средней скорости и пульсационной составляющей скорости [3] в проекции на ось x_i ; μ_t, λ_t, D_t – коэффициенты турбулентной динамической вязкости, турбулентной теплопроводности и диффузии; Pr_t, Sc_t – турбулентные числа Прандтля и Шмидта; δ_{ij} – символы Кронекера. С учетом обозначений принятых в (2.1) – (2.8) $x_1=x, x_2=y, v_1=u, v_2=v$. Согласно [2] $\mu_t = c_\mu \rho K^2 / \varepsilon$, где ε – скорость диссипации турбулентной кинетической энергии, c_μ – константа. В связи с тем, что определение коэффициента турбулентной динамической вязкости связано с трудностями обусловленными, например, произволом при выборе начальных и граничных условий для уравнения кинетической энергии турбулентности, представляет интерес приближенный способ замыкания, основанный на гипотезе пути смешения Прандтля, что фактически означает равновесное приближение (баланс генерации и диссипации) для уравнения

кинетической энергии турбулентности. Детали этого подхода для двумерного плоского случая изложены в работе [2]. Для рассматриваемого случая предположим, что в уравнении для кинетической энергии турбулентности можно пренебречь нестационарным и конвективными членами, а также членами диффузии турбулентной кинетической энергии. Тогда из правой части уравнения можно получить выражение для кинетической энергии турбулентности и согласно (2.18) коэффициент турбулентной динамической вязкости.

3. Метод решения и результаты численных расчетов

3.1. Метод решения

Если обозначить все неизвестные величины (температуру, массовую концентрацию химического вещества, энтальпию, кинетическую энергию турбулентности, масштаб длины турбулентности, составляющие скорости) через Φ , то все уравнения можно записать в виде:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho v_i \Phi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma \Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right) + S_\Phi, \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} &\text{или} \\ &\frac{\partial \Phi}{\partial t} = -K(t)\Phi + F(t), \quad K(t) \geq 0; F(t) \geq 0; \Phi|_{t=0} = \Phi_e; \alpha_1 \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \Big|_{x_i=x_{1e}} + \\ &\alpha_2 \Phi|_{x_i=x_{1e}} = \alpha_3, \end{aligned} \quad (3.2)$$

где

Φ – зависимая переменная,

v_i – компонента скорости по оси y ;

Γ – коэффициент диффузии;

S_Φ – источниковый член.

Для численного интегрирования исходного системы уравнений используется метод контрольного объема. Расчетную область разбиваем на некоторое число непересекающихся контрольных объемов, причем каждому контрольному объему должна соответствовать узловая точка, относительно которой будут рассматриваться уравнения состояния. Полученные значения будут справедливы для всей области контрольного объема. Затем исходную систему уравнений интегрируем по каждому контрольному объему.

Выбираем в каждой области контрольную точку (рисунок 3.1):

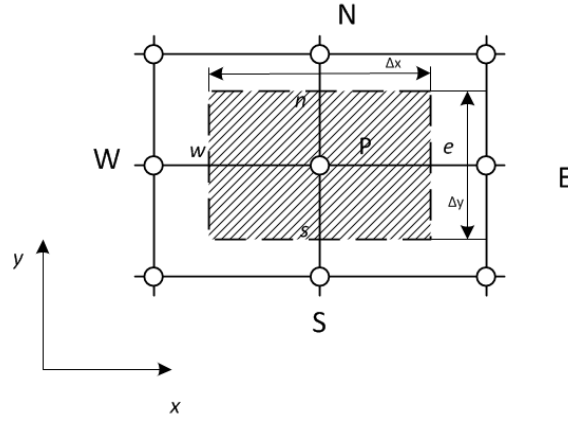


Рисунок 3.1 Контрольный объем для двумерного случая

Получаем двумерный аналог:

$$\begin{aligned}
 \alpha_P \Phi_P &= \alpha_E \Phi_E + \alpha_W \Phi_W + \alpha_N \Phi_N + \alpha_S \Phi_S + b; \\
 \alpha_W &= D_w A(|P_w|) + [|F_w, 0|]; \\
 \alpha_E &= D_e A(|P_e|) + [| -F_e, 0|]; \\
 \alpha_N &= D_n A(|P_n|) + [| -F_n, 0|]; \\
 \alpha_S &= D_s A(|P_s|) + [|F_s, 0|]; \\
 a_P &= a_E + a_W + a_N + a_S + a_P^0 - S p \Delta x; \quad \Delta x = \Delta x_3; \\
 b &= S_c \Delta x_1 \Delta x_2 + a_P^0 \phi_P^0; \quad S = S_p \phi + S_c; \\
 a_P^0 &= \frac{\rho_P^0 \Delta x_1 \Delta x_2}{\Delta t}; \\
 F_e &= (P v_1)_e \Delta x_2; \\
 F_w &= (P v_1)_w \Delta x_2; \\
 F_n &= (P v_2)_n \Delta x_1; \\
 F_s &= (P v_2)_s \Delta x_1; \\
 D_e &= \frac{F_e \Delta x_2}{(\delta x)_e}; \\
 D_w &= \frac{F_w \Delta x_2}{(\delta x)_w}; \\
 D_n &= \frac{F_n \Delta x_1}{(\delta x)_n}; \\
 D_s &= \frac{F_s \Delta x_1}{(\delta x)_s}; \\
 P_e &= \frac{F_e}{D_e}; \\
 P_w &= \frac{F_w}{D_w}; \\
 P_n &= \frac{F_n}{D_n}; \\
 P_s &= \frac{F_s}{D_s};
 \end{aligned}$$

Где F_e, F_w, F_n, F_s – расход через грани e, w, n, s соответственно; S – площадь боковой поверхности контрольного объема;

Дискретный аналог – это система алгебраических уравнений, связывающих значение вышеупомянутой зависимой переменной Φ ,

выражающей различные неизвестные, в узловых точках, находящихся в контрольном объеме.

Далее на языке Фортран была составлена программа для численного решения поставленной задачи.

Тестовые проверки программы расчета осуществлялись путем сравнения с аналитическими решениями, а также с известными численными решениями задач теории горения. Кроме того, для оценки точности используемых разностных схем и проверки правильности работы программы в целом использовался метод априори задаваемых аналитических решений, состоящий в том, что в используемые уравнения подставлялись аналитические выражения искомых функций, вычислялась неувязка уравнений, которая затем трактовалась как фиктивный источник в каждом уравнении. Затем значения функций восстанавливались. Точность восстановления этих функций составляла не менее 0,5%. Устойчивость и точность полученных решений проверялась также уменьшением шагов по времени и пространству. В серийных расчетах использовался алгоритм автоматического выбора шага по времени.

3.2. Результаты решения и их анализ

Для изучения поведения степного пожара с помощью, представленной выше математической модели, были проведены численные расчеты процесса возникновения и распространения горения. В качестве входных параметров задавались:

- Запас растительных горючих материалов (РГМ) в растительном слое;
- Влагосодержание РГМ;
- Скорость ветра на левой границе расчетной области;

Влагосодержание [2] растительных горючих материалах является безразмерной величиной и определяется по следующей формуле

$$W = \frac{(m-m_0)}{m_0}, \quad (3.3)$$

здесь m – масса РГМ в естественном состоянии, то есть влажная; m_0 – масса РГМ в абсолютно сухом состоянии.

В результате расчетов были получены изолинии температур газовой и конденсированной (твердой) фаз, концентрации кислорода и концентрации газообразных продуктов пиролиза, объемные доли сухого органического вещества, воды в жидко-капельном состоянии, конденсированных продуктов пиролиза в различные моменты времени. Для визуализации использовалась программа Matlab.

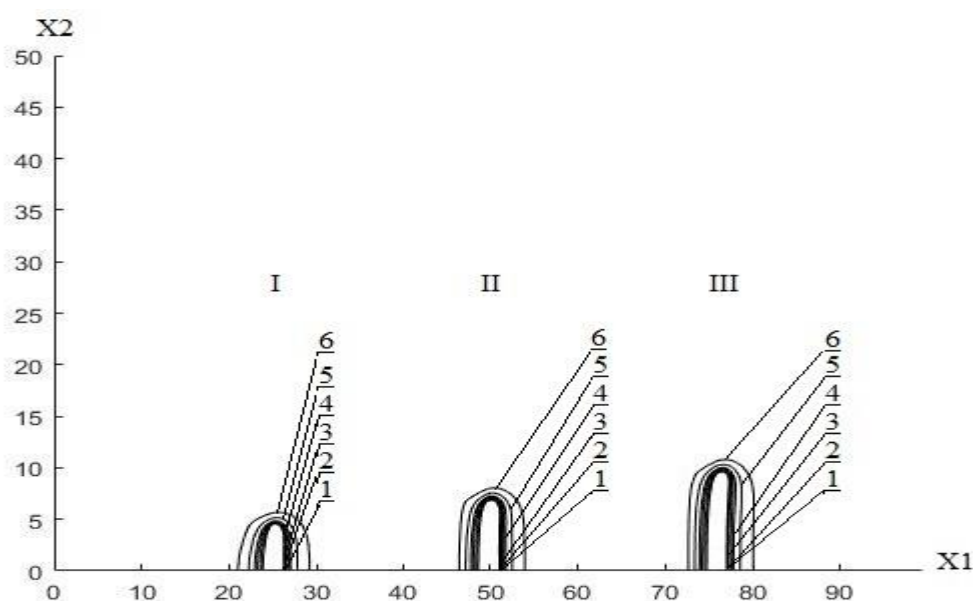


Рис.3.2 Распределение температуры при распространении степного пожара

Распределение температуры при распространении степного пожара (1 – $\bar{T} = 4$ – 3,5 – 3 – 2,6 – 2 – 1,5; $\bar{T} = T / T_e$, $T_e = 300\text{K}$). Числами 1- $T=4$; 2- $T=3,5$; 3 – $T=3$; 4 – $T=2,6$; 5- $T=2$; 6 – $T=1,5$ обозначены значения изотерм безразмерной температуры, которая определяется в следующие моменты времени: I – $t = 6\text{c}$, II – $t = 12\text{c}$, III – $t = 18\text{c}$

На основе полученных данных следует, что с течением времени возрастают температуры газовой и твердой фаз, происходит уменьшение массовой концентрации кислорода и изменение количества горючих продуктов пиролиза.

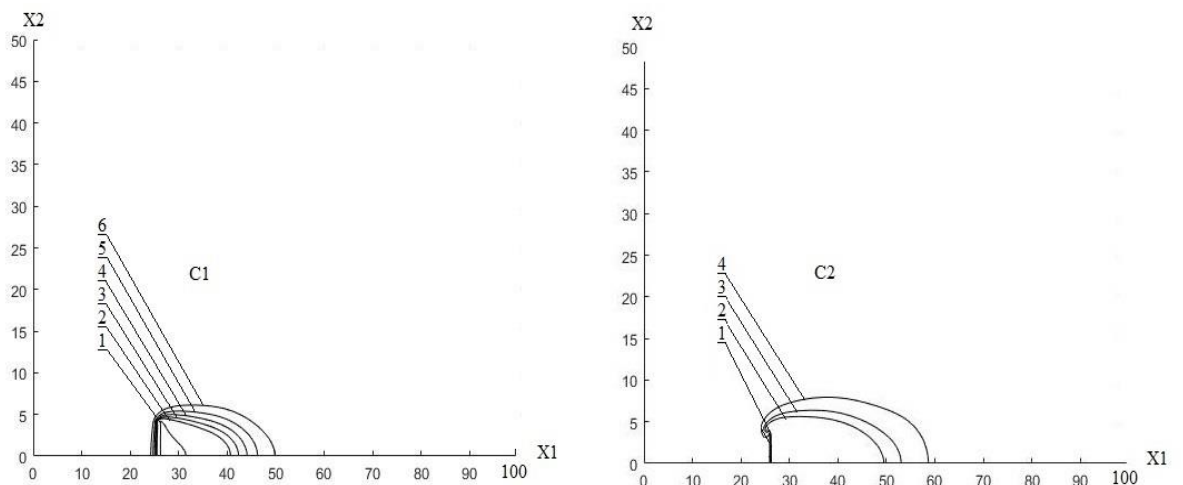


Рис. 3.3 Распределения концентраций \bar{C}_1 и \bar{C}_2 во фронте степного пожара $V=10$ м/с, $t=5$ с., $Z_{ap}=0.1$ кг/м³

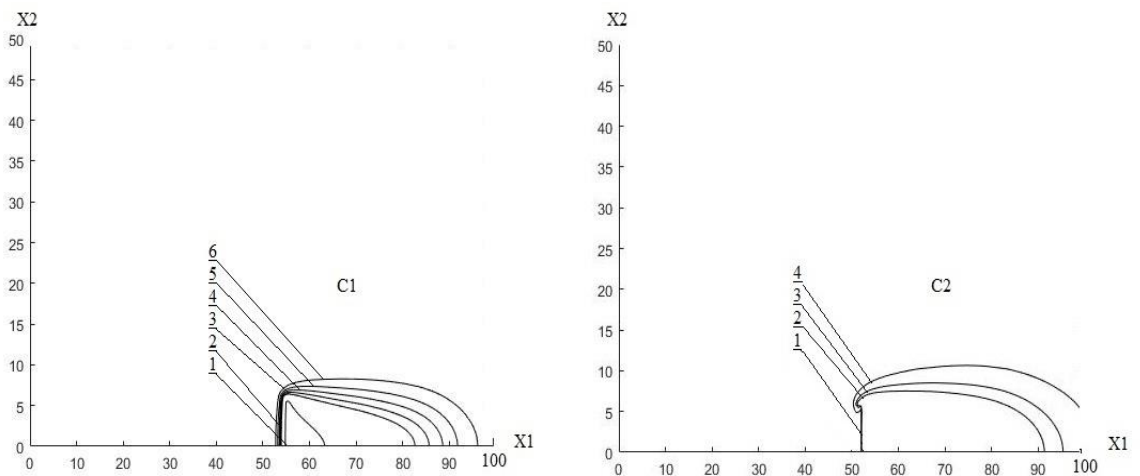


Рис. 3.4 Распределения концентраций \bar{C}_1 и \bar{C}_2 во фронте степного пожара $V=10$ м/с, $t=10$ с., $Z_{ap}=0.1$ кг/м³

На рисунке 3.3и рисунке 3.4 представлено распределение концентраций при распространении степного пожара \bar{C}_1 (числами 1 =0,1; 2 =0,5; 3 =0,6; 4 =0,7; 5 =0,8 ; 6 =0,9) \bar{C}_2 (числами 1 =0,01; 2 =0,05; 3 =0,1; 4 =1), которые определяется в следующие моменты времени: $t = 5$ с., $t = 10$ с соответственно.

В таблице 3.1.и на рисунке 3.5 представлена зависимость скорости распространения степного пожара при различных скоростях ветра и влагосодержании растительных горючих материалов. С увеличением скорости ветра и уменьшением влагосодержание растительных горючих материалов скорость распространения пожара увеличивается.

Таблица 3.1 Зависимость скорости распространения степного
пожара

ω м/с	W1=0,1	W1=0,2
7	4,26	3,51
10	6	4,9
12	7,2	6,3
15	9	7,7

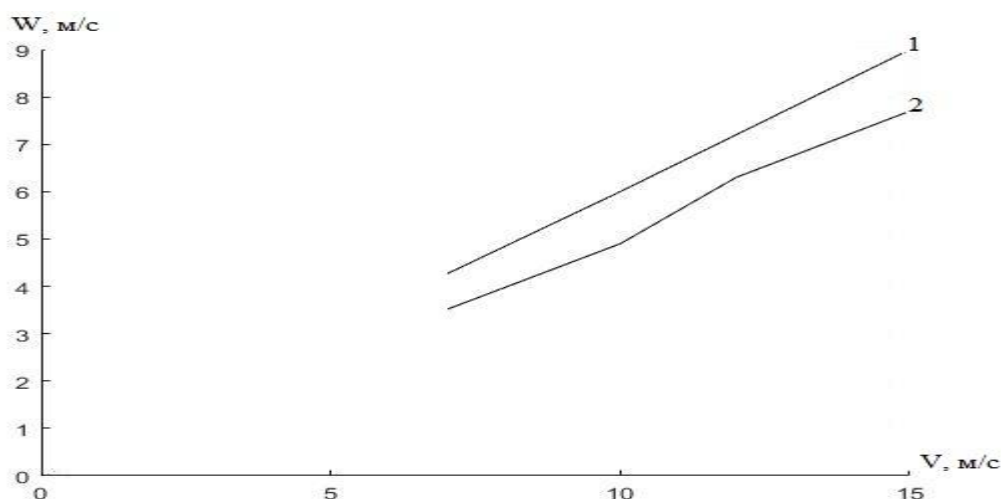


Рис.3.5 Влияние влагосодержания РГМ на скорость распространения степного пожара,
1- $W=0.1$, 2 - $W=0.2$.

С увеличением скорости ветра и уменьшением влагосодержание растительных горючих материалов скорость распространения пожара увеличивается.

В таблице 3.2.и на рисунке 3.6 представлена зависимость скорости распространения степного пожара при различных скоростях ветра и запасе растительных горючих материалов.

Таблица 3.2 Зависимость скорости распространения степного пожара от запаса
РГМ и скорости ветра.

ω м/с	Zap=0,8 кг/м3	Zap=1 кг/м3
7	4,7	4,26
10	6,5	6
12	7,7	7,2
15	9,7	9

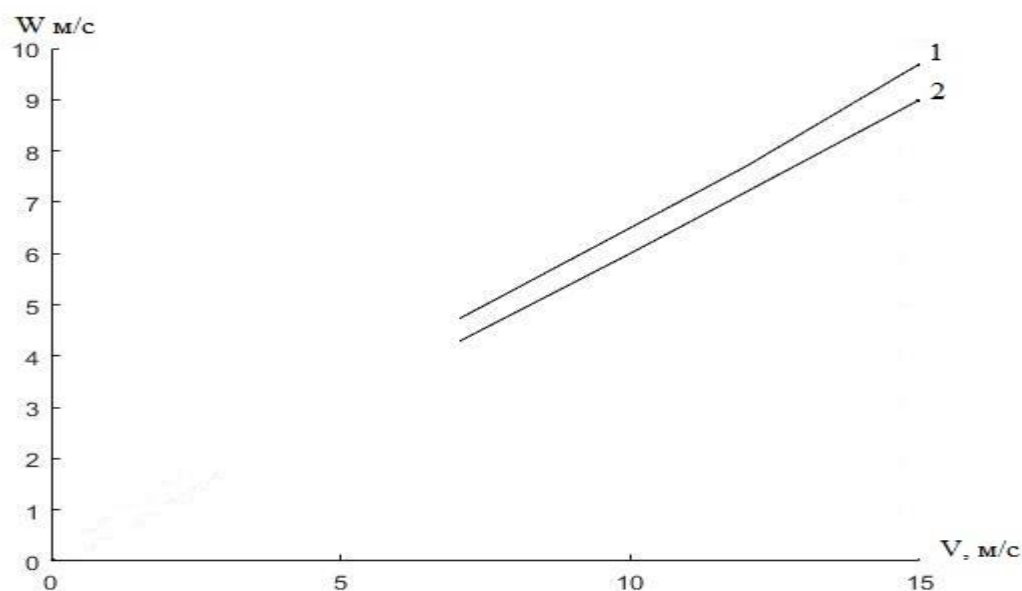


Рис.3.6 Влияние запаса РГМ на скорость распространения степного пожара.
1-Zap=0.8 кг/м³ 2-Zap=1 кг/м³

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
 - Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования

Целью данной работы является создание двумерной математической модели тепломассопереноса от верхового лесного пожара на основе законов

механики сплошных сред и экспериментальных данных, и определение безопасного противопожарного разрыва и заслона в зависимости от параметров среды и лесного массива.

На рынке представлено большое количество программ, позволяющих решить различные задачи, связанные с моделированием. В числе прочих стоит отметить PHOENICS как представителя программ для решения широкого спектра задач, связанных с моделированием потока жидкости и газа. Также существует ряд программ, нацеленных на решение определенной задачи, например, wind2, рассматривающая верховые лесные пожары в сопряженной постановке и разрывы в лесных массивах.

Программа barrier представляет интерес, поскольку несколько расширяет круг выполняемых задач, требует меньших затрат времени для расчетов.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов проведенного исследования был проанализирован целевой рынок и проведено его сегментирование.

Учитывая область наших исследований, которые направлены на обеспечение пожарной и экологической безопасности, можно выделить следующие сегменты рынка (таблица 4.1)

- высшие учебные заведения;
- научно-исследовательские институты;
- специалисты лесной охраны;
- управления МЧС России;

Таблица 4.1. Карта сегментирования рынка

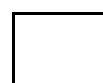
	Параметры программ		
	Бесплатная версия	Оперативность	Расчет заслонов
ВУЗ			
НИИ			
МЧС			
Лесная охрана			



Wind2



PHOENICS



Barrier

Таким образом, видно, что основными конкурентными преимуществами программы barrier становится наличие бесплатной версии, оперативность и возможность расчета противопожарных заслонов.

Наиболее рациональным считаю ориентирование на МЧС и организации лесной охраны. Внедрение в научно-исследовательские организации требует наличия сертификатов точности, проверок и поверок, а использование в ВУЗах возможно, но более рационально использовать иные программы, с более широким спектром выполняемых задач для использования в различных областях.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения проводится с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 4.2.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения подбирались, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Данная разработка сравнивается с альтернативными программными продуктами подобного класса: программа PHOENIX (K1) и wind2 (K2).

Таблица 4.2. – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии	Вес	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
Удобство эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Потребность в вычислительных ресурсах	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Время, затраченное на 1 расчет	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
Выполняемые задачи	0,1	3	5	2	0,3	0,5	0,2
Экономические критерии эффективности							
Цена	0,2	5	2	5	1	0,4	1
Конкурентоспособность	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
Послепродажное обслуживание	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Итого	1	36	35	28	4,6	4,1	3,6

Анализ конкурентных технических решений проводился по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

После проведенного анализа, можно сделать следующие выводы:

1. Программа *bartier* являет собой оптимальное соотношение функциональности и упрощения и способна выполнять различные задачи за короткий промежуток времени.
2. Ближайшим конкурентом является *Phoenixis*, однако в рамках выбранных сегментов рынка, его достоинства (математический

аппарат, многофункциональность) не играют большой роли. На первое место встает оперативность, простота использования и интуитивно понятный интерфейс. Также уязвимость заключается в высокой цене – необходимо постоянно покупать и обновлять лицензию, что влечет дополнительные расходы. В то же время лицензия для barrier стоит дешевле и приобретается один раз.

4.1.3 Swot – анализ

SWOT-анализ проводится в несколько этапов.

На первом этапе мы описываем сильные и слабые стороны проекта, выявляем возможности и угрозы при его реализации, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Сильные стороны:

C1 – высокая скорость работы.

C2 – минимальное вмешательство пользователя.

C3 – низкая стоимость.

C4 – не требует специальных знаний при использовании.

C5 – совместимость с другими программами.

Слабые стороны:

Сл1 – программа работает только на английском языке.

Сл2 – ограниченный круг решаемых задач.

Сл3 – отсутствие визуализации.

Сл4 – внесение изменений в программу невозможно.

Сл5 – отсутствие графической оболочки.

Возможности:

V1 – возможно использование в научных, образовательных и прикладных целях.

V2 – решение задач как с разрывами, так и с заслонами.

V3 – широкомасштабное продвижение в структурах МЧС при взаимодействии кафедры и ЦУКС.

Угрозы:

У1 – наличие программ с аналогичным функционалом.

У2 – без финансирования становится невозможным приобретение программы.

У3 – создание более совершенный программ – быстрых и точных.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должно быть направлено на выявление степени необходимости проведения стратегических изменений (таблица 4.3).

Таблица 4.3. Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта					Слабые стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4	С5	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности Проекта	В1	+	0	+	0	0	–	–	–	–	+
	В2	+	0	–	0	+	–	+	+	–	–
	В3	+	+	–	–	–	–	0	+	–	–
Угрозы для проекта	У1	+	0	+	+	+	0	+	+	0	+
	У2	–	–	+	–	+	–	–	+	–	–
	У3	+	–	+	+	+	–	+	+	–	+

В рамках *третьего этапа* составляем итоговую матрицу SWOT-анализа научно-исследовательского проекта (таблица 4.4).

Результаты проведенного SWOT-анализа будут учтены при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Таблица 4.4 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны: С1– высокая скорость работы. С2– минимальное вмешательство пользователя. С3– низкая стоимость. С4– не требует специальных знаний при использовании. С5– совместимость с другими программами.</p>	<p>Слабые стороны: Сл1 – программа работает только на английском языке. Сл2 – ограниченный круг решаемых задач. Сл3 – отсутствие визуализации. Сл4 – внесение изменений в программу невозможно. Сл5 – отсутствие графической оболочки.</p>
<p>Возможности: В1–возможно использование в научных, образовательных В2 – решение задач как с разрывами, так и с заслонами. В3 – широкомасштабное продвижение в структурах МЧС при взаимодействии кафедры и ЦУКС.</p>	<p>Направления развития В1С1С3; В2С1С5; Высокая скорость работы программы и низкая стоимость позволяют использовать программу как в научных, так и в прикладных целях. Важным направлением продвижения является МЧС, что становится возможным ввиду описанных преимуществ</p>	<p>Сдерживающие факторы В1Сл5; В2Сл2Сл3; В3Сл3; Отсутствие визуализации и получение итоговых результатов только в числовой форме может отпугнуть потенциальных потребителей продукта. Ограниченная область применения программы позволяет более глубоко проработать тематику и выйти в лидеры на рынке программ для решения конкретной задачи.</p>
<p>Угрозы: У1 – наличие программ с аналогичным функционалом. У2 – без финансирования становится невозможным приобретение программы. У3–создание более совершенный программ –быстрых и точных.</p>	<p>Угрозы развития У1У3С1С3С4С5; У2С3С5; Отсутствие финансирования приведет не только к затруднению приобретения данной программы, но и к невозможности ее полноценной эксплуатации – невозможность приобретения программы для визуализации. Продвижение на рынок необходимо осуществлять, опираясь на совершенствование сильных сторон.</p>	<p>Уязвимости: У1У3Сл2Сл3Сл5; У2Сл2. Наличие программ с одинаковым и более широким функционалом может привести к потере части потребителей. Необходимо усиливать преимущества и устранять недостатки.</p>

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

В данном разделе был составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Выдача задания для работы над проектом	Научный руководитель инженер
Выбор направления исследований	3	Постановка цели и задач	Научный руководитель
	4	Календарное планирование работ	Научный руководитель
	5	Поиск и изучение материала по теме	Инженер
Теоретические исследования и практические расчеты	6	Подбор необходимого материала и анализ существующих разработок	Инженер
	7	Проведение теоретических обоснований	Инженер
	8	Расчет риска ЧС на установке предварительной подготовки нефти	Инженер
	9	Создание схемы управления производственной безопасностью с учетом опасных производственных ситуаций	Инженер
	10	Согласование данных	Инженер, научный руководитель
Обобщение и оценка	11	Оценка и анализ полученных результатов	Инженер

полученных результатов	12	Работа над выводами по НИ	Инженер
Оформление отчета	13	Составление пояснительной записки к работе	Инженер

4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта (Таблица 4.6-4.7).

Таблица 4.6 – Календарный план научного исследования

№ работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение темы НИ	2	5.03	7.03	Руководитель
2	Выдача задания по тематике НИ	2	8.03	10.03	Рук. – Инж.
3	Постановка задачи	3	11.03	14.03	Инженер
4	Определение стадий, этапов и сроков разработки НИ	2	15.03	17.03	Рук. – инж.
5	Подбор литературы по тематике работы	5	17.03	21.03	Инженер
6	Сбор материалов и анализ существующих методик	10	21.03	30.03	Инженер
7	Проведение теоретических и экспериментальных расчетов и обоснований	10	31.03	9.04	Инженер
8	Анализ конкурентных методик	7	10.04	17.04	Инженер
9	Выбор наиболее подходящей и перспективной методики	5	17.04	21.04	Рук. – инж.
10	Согласование полученных данных	5	21.04	25.04	Рук. – инж.
11	Оценка и анализ полученных результатов	3	25.04	28.04	Инженер
12	Работа над выводами по НИ	3	28.04	30.04	Инженер

13	Составление пояснительной записки к работе	21	30.04	20.05	Инженер
----	--	----	-------	-------	---------

На основе таблицы 4.6 был построен календарный план-график (диаграмма Ганта). График был построен для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 4.5 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

При этом работы на графике следует, были выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 4.7 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме



4.2.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;

- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

При планировании бюджета НТИ необходимо обеспечить полное и верное отражение различных видов расходов, связанных с его выполнением.

4.2.3.1 Расчет материальных затрат на оборудование НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \underbrace{C_i}_{\text{руб./шт.}} \cdot \underbrace{N_{\text{расх}i}}_{\text{шт.}} \quad (4.2)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);
 C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Данные по расходным материалам, приведенные в таблице, взяты по прейскуранту цен магазина «Стройпарк» г. Томск за март 2020 года.

Таблица 4.8 – Материальные затраты и затраты на оборудование

Наименование		Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Бумага	пачка	1	300	300
Картридж	шт.	1	1200	1200
Ручка	шт.	5	40	200
Карандаш	шт.	3	10	30
Тетрадь	шт.	2	35	70
Пленка двухслойная	м.	20	50	1000
Лента	м.	5	30	150
Лазерный метромметр	шт.	1	2240	2240
Итого				5190

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Таблица 4.9 - Специальное оборудование для экспериментальных работ

Наименование оборудования	Количество единиц, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Ноутбук Asus	1	45000	45000
итого	45000 руб.		

Т.е., общие затраты на опытный образец составили 61400 руб.

4.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов.

Таблица 4.10 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Ноутбук Asus	1	5	45	45
Итого:	45 тыс. руб.				

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m,$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для ноутбука, с учётом, что срок полезного использования 5 лет:

$$H_A = 1/n = 1/5 = 0.2$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Ноутбук Acer

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = 0.2 \cdot 45000 / 12 \cdot 1 = 750 \text{ рублей.}$$

4.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В этой статье расходов планируется и учитывается основная заработная плата исполнителей, непосредственно участвующих в проектировании разработки:

Заработная плата научного руководителя и студента включает основную заработную плату и дополнительную заработную плату:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

Здоп – дополнительная заработная плата (15 % от Зосн).

Основная заработная плата (Зосн) научного руководителя и студента рассчитана по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} + Т_p \quad (4.3)$$

где Зосн – основная заработная плата одного работника;

Т_р – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

З_{дн} – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_м * М}{F_д}$$

где З_м – месячный должностной оклад работника, руб.;

Таблица 4.11 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Оклад, руб.	Средняя заработная плата, руб./дн.	Трудоемкость, раб. дн.	Основная заработная плата, руб.
Научный руководитель	26300	1554,1	5	7770,5
Инженер	17000	1004,5	75	75337,5
Итого				83108

Для руководителя:

$$З_{дн} = \frac{26300 * 1,3}{22} = 1554,1 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{дн} = \frac{17000 * 1,3}{22} = 1004,5 \text{ руб.}$$

4.2.3.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (4.4)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

Таблица 4.12 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Коэффициент дополнительной заработной платы	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	7770,5	0,12	1165,6
Инженер	75337,5		11300,6
Итого			12466,2

4.2.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (4.5)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в табличной форме (табл. 11).

Таблица 4.13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	7770,5	1165,6
Студент	75337,5	11300,6
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Отчисления	28672,3	

4.2.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по формуле:

$$З_{\text{накл}} = \left(\text{сумма статей} \frac{1}{6} \right) * k_{\text{нр}} \quad (4.6)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

Величину коэффициента накладных расходов берем в размере 16%.

$$З_{\text{накл}} = (750+5190+83108+12466,2+28672,3) * 0,16 = 20829,8$$

Таблица 4.14 – Группировка затрат по статьям

Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
750	5190	83108	12466,2	28672,3	130186,5	20829,8	151016,3

В данном разделе были подсчитаны материальные затраты при выполнении выпускной квалификационной работы, была рассчитана основная и дополнительная заработная плата исполнителей, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы. Общие затраты на выполнение ВКР составили **151016,3 руб.**

4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения

Таблица 4.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта (по пятибалльной шкале)

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект (с применением специализированных программ)	Аналог (ручной расчет)
Способствует улучшению промышленной безопасности на объекте	0,1	5	5
Удобство в применении методики	0,15	5	2
Степень требовательность к исходным данным	0,15	4	4
Энергосбережение	0,25	4	3
Точность	0,2	5	2
Материалоемкость	0,15	3	5
Итого:	1		

$$I_p = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,15 = 4,3;$$

$$I_a = 5 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 = 3,3.$$

Интегральный показатель эффективности разработки и аналога определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p},$$

$$I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a}.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта

I^p – интегральный показатель разработки;

I^a – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 4.16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатель	Аналог	Разработка
1	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,3	3,3
2	Интегральный показатель эффективности	4,3	3,33
3	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,77	

Расчет сравнительной эффективности вариантов исполнения исследования показал, выполнение исследования с использованием программного обеспечения эффективней, чем выполнение по аналогичному варианту с использованием расчета вручную.

Результаты раздела.

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации устройства, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;
2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 92 дня общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 76 и

общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 16;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют **151016,3** руб.;
4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:
5. Значение интегрального показателя ресурс эффективности ИР составляет 4,3 и 3,3;
6. Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,3 и 3,33, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

5. Социальная ответственность

5.1 Введение

Данная научно-исследовательская работа напрямую связана с математическим моделированием физико-химических процессов, а именно – взаимодействия фронта верхового степного пожара с степным массивом. Результатом работы является создание программы для расчетов параметров пожара при различных параметрах степного массива.

Создание подобных моделей в перспективе направлено на повышение защиты степей от пожара, а также для повышения уровня пожарной безопасности объектов, находящихся в непосредственной близости от границы степного массива. Соответственно, потребителями данного продукта являются структуры МЧС и организации степной охраны.

5.2 Анализ выявленных вредных и опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.

Вначале, необходимо определить, какие опасные и вредные факторы присущи данному типу работ и какие именно операции или процессы их вызывают. Идентификация потенциальных опасных и вредных производственных факторов проводится с использованием «Классификации вредных и опасных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003–2015 [1]. Для математического моделирования основным видом работ является работа за компьютером, поэтому определять ОВПФ будем только для данного вида работ. Перечень ОВПФ действующих на человека при проведении испытаний, приведен в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по математическому моделированию.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные Документы
	Вредные	Опасные	
Работа за ПЭВМ	Отсутствие или недостаток естественного света	Повышенное значение напряжения в электрической цепи Замыкание которой может произойти через тело человека	ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны Контроль содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны. ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рабочих. Общие требования и классификации. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 СанПиН 2.2.4-548-96 СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования.
	Недостаточная искусственная освещенность рабочей зоны	Повышенный уровень статического электричества	
	Повышенная яркость света	Повышенный или пониженный уровень отрицательных и положительных аэроионов	
	Повышенная или пониженная влажность воздуха		
	Повышенный уровень электромагнитных излучений		
	Монотонность трудового процесса		
	Нервно-эмоциональные перегрузки		
	Повышенный уровень шума		

5.2.1 Освещение рабочего места

Работа программиста происходит в помещениях, поэтому освещение в них должно приближаться к оптимальным условиям зрительного солнечного освещения. Требования к освещенности в помещениях, где установлены компьютеры, следующие: при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300 лк, а комбинированная - 750 лк; аналогичные требования при выполнении работ средней точности - 200 и 300 лк соответственно. При этом монитор и источники света должны быть расположены таким образом, чтобы не создавать бликов на поверхности экрана. Кроме того все поле зрения должно быть освещено достаточно равномерно - это основное гигиеническое требование. Иными словами, степень освещения помещения и яркость экрана компьютера должны быть примерно одинаковыми, т.к. яркий свет в районе периферийного зрения значительно увеличивает напряженность глаз и, как следствие, приводит к их быстрой утомляемости.

По «СанПиНу» помещение с ЭВМ должны иметь и естественное и искусственное освещение. При этом дополнительное искусственное освещение применяется не только в темное, но и в светлое время суток. Естественное освещение должно осуществляться через светопроемы, ориентированные преимущественно на север и северо-восток и обеспечивать коэффициенты естественной освещенности (КЕО) не ниже 1.2% в зонах с устойчивым снежным покровом и 1.5% на остальной территории. Искусственное освещение в помещениях эксплуатации ЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В качестве источников искусственного освещения обычно используются люминесцентные лампы типа ЛБ или ДРЛ, которые попарно объединяются в светильники, которые должны располагаться над рабочими поверхностями равномерно.

Общее освещение следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя при рядном расположении ЭВМ. При

периметральном расположении компьютеров линии светильников должны располагаться локализовано над рабочим столом, ближе к его переднему краю, обращенному к оператору.

Ограничить отраженную блескость на рабочих поверхностях можно за счет правильного выбора типов светильников и расположения рабочих мест по отношению к источникам естественного и искусственного освещения, при этом яркость бликов на экране не должна превышать 40 кд/кВ.м и яркость потока, при изменении системы отраженного освещения, не должна превышать 200 кд/кв.м.

Для исключения бликов отражения на экранах от светильников общего освещения необходимо применять антибликерные сетки, специальные фильтры для экранов, защитные козырьки или располагать источники света параллельно направлению взгляда на экран с обеих сторон.

Поскольку экран монитора - это тоже источник света, при постоянном чтении информации с него происходит быстрое утомление глаз, особенно если яркость свечения монитора установлена слишком высокой. Также раздражение глаз вызывает мерцание изображения на мониторе, вызванной низкой частотой кадровой развертки. В целях снижения мерцания экрана рекомендуется устанавливать частоту кадров не менее 75 Гц для ЭЛТ-мониторов, для ЖКИ-мониторов достаточной является минимальная частота кадров в 60 Гц.

5.2.2 Микроклимат рабочего помещения

Микроклимат рабочего помещения - это климат внутренней среды этого помещения, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха.

Параметры микроклимата могут меняться в широких пределах, в то время как необходимым условием жизнедеятельности человека является поддержание постоянства температуры тела благодаря терморегуляции, т.е. способности организма регулировать отдачу тепла в окружающую среду. Принцип нормирования микроклимата - создание оптимальных условий для теплообмена тела человека с окружающей средой. Так, средняя температура

воздуха в помещении офиса должна составлять $+22^{\circ}\text{C}$, относительная влажность - 46%, атмосферное давление - 750 мм.рт.ст., содержание пыли - не более 10 мг/м воздуха рабочего места, максимальные размеры частиц - 2 мкм.

Вычислительная техника является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении. Для создания и поддержания оптимального микроклимата, независимо от наружных условий: в холодное время года используется водяное отопление; в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер, с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Температура воздуха в помещении офиса не должна опускаться ниже $+19^{\circ}\text{C}$, а при полной загруженности оборудования температура воздуха в офисе не должна превышать $+25^{\circ}\text{C}$.

В помещениях, где установлены компьютеры, должны соблюдаться определенные параметры микроклимата. В санитарных нормах установлены величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия. Эти нормы устанавливаются в зависимости от времени года, характера трудового процесса и характера производственного помещения (табл. 5.2).

Таблица 5.2 Параметры микроклимата для помещений

Период года	Параметр микроклимата	Величина
Холодный	Температура воздуха в помещении	22...24 $^{\circ}\text{C}$
	Относительная влажность	40...60%
	Скорость движения воздуха	до 0,1м/с
Теплый	Температура воздуха в помещении	23...25 $^{\circ}\text{C}$
	Относительная влажность	40...60%
	Скорость движения воздуха	0,1...0,2м/с

Объем помещений, в которых размещены работники программисты, не должен быть меньше 19,5м³/человека с учетом максимального числа одновременно работающих в смену. Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры, приведены в табл.5.3.

Таблица 5.3 - Нормы подачи свежего воздуха

Характеристика помещения	Объемный расход подаваемого в помещение свежего воздуха, м ³ / на одного человека в час
Объем до 20м ³ на человека	Не менее 30
20...40м ³ на человека	Не менее 20
Более 40м ³ на человека	Естественная вентиляция

5.2.3 Воздействие электромагнитных излучений и электрического поля. Статическое электричество

До недавнего времени воздействие электромагнитных полей считались безвредными. Однако, электромагнитные поля, характеризующиеся напряженностями электрических и магнитных полей, оказывает вредное воздействие на организм человек. Основным источником этих проблем, являются дисплеи (мониторы), особенно дисплеи с электронно-лучевыми трубками. Они представляют собой источники наиболее вредных излучений, неблагоприятно влияющих на здоровье программиста. Электромагнитное поле имеет электрическую и магнитную составляющую. Считается, что магнитная составляющая вызывает большую реакцию, чем электрическая.

ЭВМ являются источниками таких излучений как: мягкого рентгеновского; ультрафиолетового 200 - 400 нм; видимого 400 - 700 нм, ближнего инфракрасного 700 - 1050 нм; радиочастотного 3 кГц - 30 МГц; электростатических полей.

При эксплуатации монитор компьютера излучает мягкое рентгеновское излучение. Опасность этого вида излучения связана с его способностью проникать в тело человека на глубину 1-2 см и поражать поверхностный кожный покров.

Максимальный уровень рентгеновского излучения на рабочем месте программиста обычно не превышает 10 мкбэр/ч, а интенсивность ультрафиолетового и инфракрасного излучений от экрана монитора лежит в пределах 10...100мВт/м².

Ультрафиолетовое излучение в больших дозах приводит к дерматиту кожи, головной боли, рези в глазах.

Инфракрасное излучение приводит к перегреву тканей человека (особенно хрусталика глаза), повышению температуры тела.

Уровни напряженности электростатических полей должны составлять не более 20 кВ/м. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500 В. При повышенном уровне напряженности полей следует сократить время работы за компьютером, делать пятнадцатиминутные перерывы в течение полутора часов работы, обязательно применять защитные экраны, не размещать их концентрированно в рабочей зоне и выключать их, если на них не работают.

Может возникнуть опасность по уровням напряженности электромагнитного поля. На расстоянии 5-10 см от экрана и корпуса монитора уровни напряженности могут достигать 140 В/м по электрической составляющей, что значительно превышает допустимые значения СанПиН. Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений от монитора представлены в табл. 5.5.

Таблица 5.5 - Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений

Наименование параметра	Допустимые значения
Напряженность электрической составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50см от поверхности монитора	10В/м
Напряженность магнитной составляющей электромагнитного поля на расстоянии 50см от поверхности монитора	0,3А/м
Напряженность электростатического поля не должна превышать: для взрослых пользователей для учебных заведений	20кВ/м 15кВ/м

Для безопасной работы на ЭВМ необходимо находиться на расстоянии не менее 50 см от экрана дисплея. Для снижения воздействия всех видов излучения рекомендуется применять мониторы с пониженным уровнем излучения, устанавливать защитные экраны, а также соблюдать регламентированные режимы труда и отдыха.

Наряду с этим нужно устанавливать в помещении, где работает программист, ионизаторы воздуха, чаще проветривать помещение и хотя бы один раз в течение рабочей смены очищать экран от пыли.

Для предотвращения образования и защиты от статического электричества необходимо использовать нейтрализаторы и увлажнители, а полы должны иметь антистатическое покрытие. Допустимые уровни напряженности электростатических полей не должны превышать 20 кВ в течение 1 часа.

5.2.4 Шум и вибрация

Шум является совокупностью звуков различной частоты, интенсивности и продолжительности. Высокий уровень шума, создаваемый печатными устройствами, множительной техникой, оборудованием для кондиционирования воздуха, вентиляторами систем охлаждения и трансформаторы в самих ЭВМ является одним из неблагоприятных факторов производственной среды программиста.

Длительное действие шума высокой интенсивности (выше 80 дБ) приводит к патологиям слухового органа и негативно влияет на нервную систему. Шум приводит к быстрой утомляемости человека, что в свою очередь ведет к производственным ошибкам.

Уровень шума на рабочем месте программистов, по СанПиН не должен превышать 50 дБА, а в залах обработки информации на вычислительных машинах - 65 дБА.

Для снижения уровня шума стены и потолок помещений, где установлены компьютеры, могут быть облицованы звукопоглощающими материалами, а также применения различных звукопоглощающих устройств. Шумящее оборудование, уровни шума которого превышают нормированные, должно находиться вне помещений.

Снижение шума в источнике излучения можно обеспечить применением мягких ковриков из синтетических материалов, а под ножки столов, на которых они установлены, - прокладки из мягкой резины, войлока, толщиной

6-8 мм. Возможно также применение звукоизолирующих кожухов, которые не мешают технологическому процессу.

К средствам индивидуальной защиты относятся противошумные наушники, вкладыши, шлемы и каски, специальные костюмы.

Вибрация - это колебания точки или механической системы под действием внешних сил. Вибрация может вызывать некоторые профессиональные заболевания, при которых изменяются физиологические и психические функции организма. Уровень вибрации в помещениях вычислительных центров может быть снижен путем установки оборудования на специальные виброизоляторы.

Рациональная планировка помещения и организация рабочего места, правильное размещения оборудования также является важным фактором, позволяющим снизить шум и вибрацию.

5.2.5 Психофизические воздействия

Психофизические вредные воздействия вызываются сидячим образом работы, а также вследствие высокого умственного напряжения, так зачастую задачи, решаемые программистами, требуют больших умственных затрат. Для уменьшения вредного влияния этих факторов необходимо каждый час выполнять легкую разминку, состоящую из нескольких простых физических упражнений.

5.3 Экологическая безопасность

Работы за ПЭВМ, к которым относится математическое моделирование, напрямую не влияют на окружающую среду. Однако отслужившая электроника, лампы, батареи при неправильной утилизации являются опасными и требуют особого подхода.

5.3.1 Утилизация электроники.

Утилизация электроники контролируется по двум причинам. Во-первых, на обычных свалках под открытым небом составляющие компьютера разрушаются и в окружающую среду поступают такие вещества как свинец, сурьма, кадмий, мышьяк, а также соединения на основе поливинилхлорида и

фенол формальдегида. А во-вторых, в состав компьютеров старых образцов входит некоторое количество драгоценных металлов (в основном, золота), перемещение и оборот которых находится под государственным контролем. Утилизация компьютеров и оргтехники производится согласно методике, утвержденной государственным комитетом РФ по телекоммуникациям [14].

Согласно этой методике, существуют 4 этапа проведения работ – информационное обеспечение, заключение договоров, разборка техники и реализация партий лома. При этом в рамках договора реализуются не только элементы, содержащие драгоценные металлы, но и ломы цветных и черных металлов и пластмасса для вторичной переработки (до 95%). Таким образом выполняется сразу две задачи – сбережение ресурсов и уменьшение количества твердых отходов.

5.3.2 Утилизация люминесцентных ламп.

Что касается люминесцентных ламп, то тут ситуация двоякая. С одной стороны, эти лампы считаются экономичными и энергосберегающими, что, несомненно, является плюсом, поскольку массовое использование энергосберегающих ламп несколько снизит потребность в электроэнергии. С другой стороны, в люминесцентных лампах используется ртуть, что переводит отработанные лампы из обычных отходов в опасные, требующие специальной утилизации. Для юридических лиц необходимо заключать контракты с компаниями, занимающимися утилизацией токсичных отходов, что несет дополнительные расходы.

5.3.3 Другие воздействия

Стоит сказать и про некоторые другие воздействия данного вида работ на окружающую среду. Это утилизация твердых бытовых отходов и пользование коммунально-энергетическими сетями. Физические и юридические лица обязаны платить налог на утилизацию ТБО, пользование КЭС и очистку сточных вод.

Для уменьшения воздействия на окружающую среду этими путями можно использовать рациональный порядок пользования КЭС: не оставлять открытыми краны, не использовать электроэнергию там, где это не нужно (например, оставлять освещение после ухода), применять энергосберегающие лампы. Для облегчения утилизации ТБО необходимо сортировать отходы.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Для лаборатории, находящейся в здании промышленного корпуса, наиболее вероятными и опасными являются следующие ЧС:

–Пожары (взрывы) в зданиях (сооружениях);

Согласно ФЗ №123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [15], помещение относится к классу Ф 4.3 (здание органов управления учреждений, проектно-конструкторских организаций, информационных и редакционно-издательских организаций, научных организаций, банков, контор, офисов.

Основными причинами пожаров и взрывов являются электроустановки (ПЭВМ) – искры при замыкании электрической цепи, неисправности в розетках и проводке, накопление статического электричества на токопроводящих элементах. Также возможны и другие причины возгорания и взрывов, но они маловероятны (неосторожное обращение с огнем, курение на рабочем месте, размещение легко воспламеняемых конструкций и материалов вблизи отопительных приборов, удар молнии).

Способы устранения причин пожаров могут быть следующие:
Предупредительные (организационные):

–Правильный выбор электрооборудования и способов его монтажа, систематический ремонт и контроль неисправности;

–Изолирование отопительных приборов от сгораемых конструкций и материалов,

–Запрещение хранения, транспортирования и содержания на рабочих местах огнеопасных жидкостей и растворов

–Предупреждение появления искровых разрядов статического электричества;

–Инструктажи по пожарной безопасности;

–Маркировка розеток;

–Правильная организация заземления;

–Обучение персонала правилам пожарной безопасности;

–Размещение планов эвакуации, Технические:

–Обеспечение первичными средствами пожаротушения.

–Обеспечение сигнализации и оповещения. Для этого можно использовать охранно-пожарную сигнализацию, которая обеспечит своевременное обнаружение возгорания, включит оповещение и передаст сигнал на пункт управления.

Вывод: в данном разделе рассмотрели опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте программиста.

В разделе проработана нормативная база основанная, на материалах по охране труда и окружающей среды, а также безопасности в чрезвычайных ситуациях.

Проанализировав данные можно сделать вывод, что рабочее место программиста соответствует НТД.

Заключение

В данной работе была разработана математическая модель возникновения и распространения степного пожара. На основании этой модели была создана компьютерная программа, при помощи которой проведено моделирование процессов распространения степных пожаров. Результатом расчетов стали распределения полей температур, концентраций кислорода и продуктов пиролиза.

Получены распределения полей температуры и концентраций компонентов газовой и конденсированной фазы в различные моменты времени. Для численного решения поставленной задачи использован метод контрольного объема.

Исследовано влияние влагосодержания и запаса растительных горючих материалов и скорости ветра на скорость распространения степных пожаров.

Литература

1. Бурасов Д.М., Гришин А.М. Математическое моделирование низовых лесных и степных пожаров. Кемерово: Практика, 2006. 133 с.
2. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними Новосибирск Наука ,1992.408 с.
3. Morvan D. Physical modelling of fire spread in Grasslands [Text] / D. Morvan, S. Meradji, G. Accary // Fire Safety Journal. 2009. No. 44. P. 50-61.
4. Bonham, C.D. and A. Lerwick. 1976. Vegetation changes induced by prairie dogs on short grass range. Journal of Range Management 29:221-225.
5. Fons, W.L. Analysis of fire spread in light forest fuels / W.L. Fons // Journal of Agric. Res. - 1946. - Vol. 72, N 3. - P. 93-121.
6. Byram, G.M. The modeling of fire whirlwinds /G.M. Byram, R.E. Martin // Forest Science. - 1970. - Vol. 16. N 4. - P. 586-398.
7. Rothermel, R.C. A mathematical model for fire spread predictions in wildland fuels / R.C. Rothermel. - USDA Forest Service Research Paper INT-115, Ogden,
8. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров / А.М.Гришин. - Томск: Изд-во Томского университета, 1981. - 277 с.
9. Гостинцев Ю.А. Аэродинамика среды при больших пожарах. Линейный пожар. Черноголовка: ИХВ АН СССР, 1977. - 51 с. (Препринт)
10. Коровин Г.Н. Методика расчета некоторых параметров низовых лесных пожаров / Сборник научных трудов Л.: ЛенНИИЛХ, 1969. - В. XII. - С. 244—262.
11. Grishin A.M. Mathematical Modelling of Forest Fires // Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia, P. 285-302.
12. Гришин А. М. Общая математическая модель степных пожаров и ее приложение // Экологические системы и приборы. 2004. №12. С. 25–29.
13. Patankar S., Numerical heat transfer and fluid flow. - McGraw-Hill, Hemisphere Publishing Corporation, 1980, 197 p.
14. Agranat, Vladimir. Mathematical modeling of wildland fire initiation and spread / V. Agranat, V. A. Perminov // Environmental Modelling and Software

- . — 2020 . — Vol. 125 . — [104640, 1 p.] . — Title screen. — [References: 20 tit.]. — Режим доступа: по договору с организацией-держателем ресурса..
15. Perminov, Valery Afanasievich. Numerical Modeling of the Process of Thermal Impact of Wildfires on Buildings Located near Forests [Electronic resource] / V. A. Perminov, K. O. Fraynova, A. Lukianov // Materials Science Forum Scientific Journal: [Electronic resource]. — 2019 . — Vol. 970 : Modern Problems in Materials Processing, Manufacturing, Testing and Quality Assurance II . — [P. 82-87] .
 16. Федеральный закон 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
 17. Гоман П.Н., Соболев В.Р., Баровик Д.В., Таранчук В.Б. Экспериментальночисленное моделирование процесса горения и распространения огня в условиях лесного низового пожара. / Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности», выпуск № 3 (37) – 2011 г.
 18. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистрантов, специалистов и бакалавров всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ Составители Е.Н. Пашков, А.И. Сечин, И.Л. Мезенцева